

피코초 레이저를 이용한 회절 격자 금형 개발

Practical application of picosecond laser micro-machining to the direct fabrication of a diffraction grating mold

한국기계연구원 노지환, 이제훈, 손현기, 서정, 신동식

Abstract

Picosecond (ps) laser micro-machining has emerged as an attractive method of fabricating high-precision microstructures, especially in metals. In this paper, a metallic mold for diffraction gratings is fabricated with a mode-locked 12 ps Nd:YVO₄ laser. Laser pulses with a wavelength of 355nm are irradiated on the surface of NOK 80, a mold material, to generate line patterns. In order to minimize the line width, laser power is set just above the ablation threshold of NOK 80. Results show that the spectrum from the fabricated mold is good enough for some industrial application

Key Words : micro-machining(미세가공) , picosecond laser (피코초 레이저), diffraction grating mold (회절 격자 금형)

1. 서론

회절격자는 광학적 필요에 의해서 뿐만 아니라 전자 제품의 무지개색 로고까지 많은 분야에 사용되고 있다. 회절격자의 제작과정은 대부분 에칭 공정의 간접적 공정이 쓰이고 있으며, 가공 공정 시간이 길다. [1,2,3]

피코초 레이저는 미세 가공 분야에 유용한 수단으로 관심을 받고 있다. 그 이유로서는 피코초레이저의 짧은 펄스폭이 열영향부를 줄이므로서 기존의 나노초 레이저보다 미세가공에 더 유리하기 때문이다.

본 논문에서는 피코초 레이저를 이용한 가공의 실험 조건을 제시하고, 광학적 시뮬레이션 데이터와 실험 결과를 비교하며, 피코초 레이저 직접 가공에 의한 회절 격자 금형 제작에 대해서 논하고자 한다

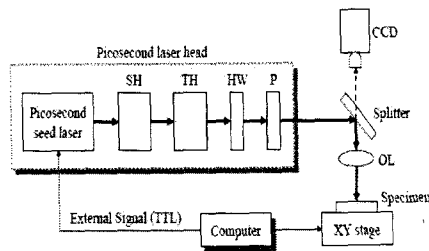


Fig. 1 Schematic of the experimental setup (SH: second harmonic generator, TH: third harmonic generator, HW: half wave plate, P: polarizer, OL: objective lens).

1.1

2. 실험

Fig.1 은 실험장치의 대략적인 구성도를 보여준다. 피코초 레이저는 12ps 의 펄스폭을 가지고 있으며, 최대 반복율은 640kHz 이다. 기본적인 파장대는 1064nm 이다. Fig.1 에서 보이듯이 harmonic

generator를 이용하여 532nm, 355nm의 파장대를 만들어 낸다. 본 실험에서는 가공 선폭을 최소로 줄이기 위하여 355nm의 파장대를 사용하였다. 위상 지연판과 편광판을 사용하여 레이저 파워를 조절하였다.

3. 회절 격자의 광학적 시뮬레이션

Fig.2에서는 반사형 타입의 회절격자에 대한 모델을 보여주고 있다. 이에 대한 광학적 수식을 전개해 나가면 다음과 같은 결과식을 유도하게 된다.

$$I(u) = N^2 \cdot d^2 \cdot \left(\frac{\sin\left(\frac{\pi u d}{\lambda}\right)}{\left(\frac{\pi u d}{\lambda}\right)} \cdot \frac{\sin\left(\frac{N \pi u g}{\lambda}\right)}{N \cdot \sin\left(\frac{\pi u g}{\lambda}\right)} \right)^2 \quad (1)$$

위 식(1)에서 I 은 각도에 따른 빛의 강도를 의미하고, N 은 회절 격자의 골의 개수, u 은 각도를 나타내는 항이며, d 은 골 사이에 빛이 반사될 수 있는 거리를 의미하며 g 은 골과 골사이 거리를 의미한다.

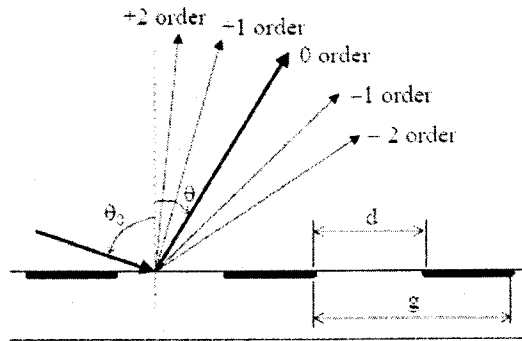


Fig.2 Schematic of the reflective grating

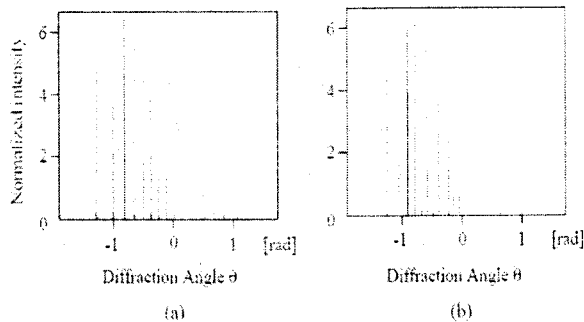


Fig.3 Simulation result, $N=50$, $d = 0.5\mu\text{m}$ (a) $g=4\mu\text{m}$, (b) $g=6\mu\text{m}$

Fig.3은 수식(1)을 이용하여 구해낸 시뮬레이션 결과이다. 45도의 입사각에 대해서 회절된 빛들이 어떻게 진행하는지를 나타내는 그래프이다. g 에 따라 다른 현상을 보여준다.

4. 실험 결과

Fig.4 (a) 는 회절 격자 금형의 실제 제작된 사진이다. Fig.4(b) 은 회절 격자 금형에 632nm 파장의 레이저를 입사 하였을 때 생겨나는 회절 패턴을 보여주고 있다. Table 1 에서는 시뮬레이션의 결과와 실험상의 회절광의 방향을 비교한 표이다. Table 1 에서 보는 바와 같이 시뮬레이션 결과와 실험 결과가 4도 이내의 오차를 가지고 일치하는 것을 확인할 수 있다.

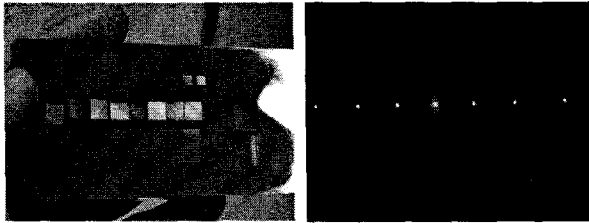


Fig. 4 Photographs of the fabricated mold (left) and of the diffraction image (right).

Table 1. the simulation peak angle and experimental peak angle ($N = 50$, $\theta_0 = 45^\circ$, $d = 0.5 \mu\text{m}$)

g [μm]	Simulation θ [degree]	Experiment θ [degree]
2	19 (1 th order)	18 (1 th order)
	45 (0 th order)	45 (0 th order)
	63 (-1 th order)	62 (-1 th order)
	77 (-2 th order)	81 (-2 th order)
4	19 (2 th order)	18 (2 th order)
	34 (1 th order)	34 (1 th order)
	45 (0 th order)	45 (0 th order)
	54 (-1 th order)	55 (-1 th order)
	62 (-2 th order)	64 (-2 th order)
6	70 (-3 th order)	73 (-3 th order)
	30 (2 th order)	30 (2 th order)
	39 (1 th order)	38 (1 th order)
	45 (0 th order)	45 (0 th order)
	51 (-1 th order)	51 (-1 th order)
	57 (-2 th order)	58 (-2 th order)

Fig 5 은 실제 무지개색 로고의 금형을 제작한 사진이다. 왼편의 시편은 실제 사용 되고 있는 무지개 색 로고이고, 오른쪽 시편은 피코초레이저를 이용해 가공한 무지개색 로고이다.

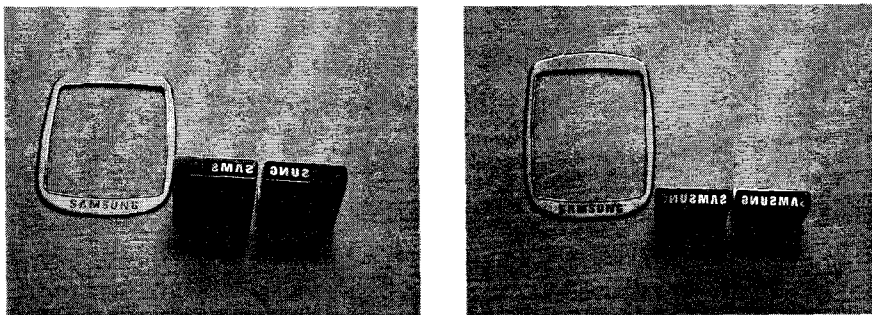


Fig. 5 comparison between conventional logo and logo which was made by pico-second laser.

5. 결론

본 논문에서는 피코초 레이저를 이용하여 회절격자 금형을 제작하였다. Laser direct ablation 을 이용하여 2 μ m 의 가공 선폭을 구현하였으며, 이 가공 선폭을 이용하여 회절 격자를 제작하였다. 광학적 시뮬레이션을 통해 제작된 회절 격자를 검증하였다.

참고 문헌

- [1] W.Mckinney, 1984 “ Diffraction gratings: manufacture , specialization, and application” SPIE 28th Annual Intern.Techn. Symp., Tutorial 25, San Diego.
- [2] E.W.Palmer , 1975 “ diffraction gratings “ Rep. Progr,Phys.38,975-1048
- [3] G.W.Stroke, 1967 “ diffraction grating” in handbook of Physics,v.29,1256-1259